

# Comunicación C-8

## CÁLCULO Y USO OPERATIVO DE VIENTOS DE IMÁGENES DE SATÉLITE

**José Miguel Fernández Serdán**

Seivicio de Teledetección del INM

**Francisco Martín León**

Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción del INM

### **RESUMEN**

*El procedimiento existente en SAIDAS para cálculo rutinario de vientos a partir de imágenes del satélite Meteosat ha sido ampliado y es mucho mas completo. La base de datos resultante contiene más vientos que en el pasado, con mejor còbertura, más fiables, y con herramientas mejoradas y simplificadas para presentación y evaluación. Utilizados junto a las propias imágenes y demás información atmosférica, pueden aportar conocimiento al predictor para realizar el diagrióstico atmosférico rutinario.*

### **1. Introducción**

Los vientos derivados de los cambios aparentes en una serie de imágenes sucesivas han venido siendo el producto más interesante de los satélites geoestacionarios, paliando la escasez de obseivaciones meteorológicas en altura, particularmente sobre mar. Los que elaboran, para los distintos satélites geoestacionarios (Meteosat, GOES, GMS, Insat), sus respectivos operadores, se intercambian a nivel mundial a través del SMT, mediante boletines *Satob*. Este producto es importante sobre todo en predicción numérica, estando demostrada su utilidad, en particular para modelos globales; pese a que aunque en continua mejora todavía es necesario en su extracción hacer bastante uso de métodos empíricos, estadísticos, incluso interactivos.

Los procedimientos y resultados varían según el centro productor, pero siempre incluyen como fundamentales: la determinación de trazadores, su seguimiento y asignación de nivel, y la depuración de resultados.

#### **1.1. Determinación de trazadores**

Se trata de buscar estructuras reconocibles en cada elemento o caja en la que se segmenta la imagen: bien buscando formas más o menos individualizadas, bien buscando conjuntos homogéneos *depixeles* tras

clasificación previa, o mezclando ambas técnicas. El trazador está formado por nubes o (experimentalmente), se trata de una estructura de vapor de agua.

## 1.2. Seguimiento de trazadores

Se usan en este paso técnicas de reconocimiento de estructuras o formas (las más clásicas son de tipo estadístico), para reconocer el trazador en la imagen siguiente (es necesario que éste sea bastante conservativo).

## 1.3. Asignación de nivel

Se usan temperaturas de brillo en imagen de infrarrojo térmico, aplicando en muchos casos las correcciones pertinentes (nubes semitransparentes o fraccionales), e interpolando a un perfil de temperaturas previsto por un modelo numérico.

## 1.4. Depuración de resultados

Se basa sobre todo en criterios de consistencia interna: trazador coherente y aceptablemente identificado en imagen siguiente; vientos sucesivos del mismo trazador no muy diferentes; si es posible también se comparan vientos cercanos. La aceptación final es en general interactiva (subjetiva).

## 1.5. Consideraciones generales sobre vientos de satélite

Estos vientos calculados difieren de los observados: representan promedios espaciales (generalmente, entre 100 y 200 km), y temporales (entre 30 min y 1 h). Esto es ya fuente de error al comparar con los primeros, así como el tamaño del pixel y su error de localización. Otras fuentes de error están en que el trazador no es totalmente conservativo, y sobre todo en la dificultad, incluso imposibilidad de asignar un nivel concreto, correcto, al viento. El error del producto (RMS, vectorial) está generalmente entre 5 y 10 m/s, con una leve tendencia a vientos demasiado débiles a niveles altos. Este error es todavía importante, pese a las mejoras conseguidas y a la utilidad del producto.

Quizás la mayor limitación, no obstante, es que sólo se calculan allí donde hay un trazador adecuado, normalmente a un solo nivel (o dos a lo sumo).

## 1.6. Productos Satob y procedimiento en SAIDAS

Los Satob de vientos del Meteosat, generados actualmente por Eumetsat recogiendo la experiencia de ESA y distribuidos a través del SMT, han sido regularmente perfeccionados y son quizás los mejores.

En SAIDAS se usan algoritmos básicos McIDAS, en su dápunteros, pero que apenas han evolucionado, y la calidad individual de los vientos es sin duda algo peor, más en el nivel asignado que en el propio viento. A cambio, se calculan más vientos en la zona considerada (pues mayor frecuencia, mejor resolución espacial, uso de todos los canales, latitud máxima algo mayor, y no limitación a trazadores nubosos, con posibilidad de más de un nivel). Se ha perfeccionado al tiempo la depuración (borrado, corrección, marcado) de resultados, y la evaluación (comparaciones y estadísticas) a posteriori de éstos; todo ello en forma automática. Además, se incluyen herramientas fáciles de usar interactivamente y también aplicables a los vientos Satob dada la complementariedad y paralelismo de ambos productos.

## 2. Descripción del procedimiento para Meteosat en el SAIDAS

En 1992, una vez estudiadas a fondo las posibilidades al respecto en McIDAS, y realizados algunos desarrollos y adaptaciones, se puso a funcionar rutinariamente el procedimiento VDN (Vientos de Desplaza-

mientos Nubosos), fundamentalmente para imágenes IR (infrarrojo) de Meteosat, posteriormente ampliado al canal VIS (visible). Ello se ha integrado en el nuevo procedimiento VDI (Vientos de Desplazamientos en Imágenes), que aparte de ampliar al canal WV (vapor de agua), introduce como novedad importante que para los resultados finales se usan conjuntamente todos los vientos aceptados en diferentes canales.

## 2.1. Técnicas básicas

Trazadores son cajas cuadradas de la imagen inicial (entre 20 y 26 *pixeles* de lado), donde se dé un gradiente de al menos 10 valores de brillo en 3 *pixeles* de distancia, estando los brillos en un rango predefinido. La temperatura de brillo significativa para asignación de nivel es según clase mas fría no aislada, una vez clasificados los *pixeles* del infrarrojo térmico en histograma, e interpolación a perfil previsto del LAM-INM. Por debajo de 700 mb, se tiene en cuenta más bien un nivel medio respecto de los *pixeles* más cálidos. Se hace seguimiento por correlación cruzada, a partir de un centro de búsqueda dado por el viento previsto o calculado antes; se usan tres imágenes para calcular dos vientos sucesivos de los que se guarda el promedio, que representa un intervalo temporal del orden de 1 hora.

## 2.2. Vientos calculados en cada canal

Como ya se ha dicho, la primera parte del proceso es independiente para IR, VIS (diurno), y WV

El proceso IR se considera el básico pues proporciona vientos día y noche, y a diferentes niveles, aunque no muy abundantes. Su principal inconveniente es asignar un nivel demasiado bajo a cirros semitransparentes.

El proceso VIS utiliza las imágenes normalizadas (Sol como en el zénit), a resolución máxima; se consigue por lo tanto mayor densidad de vientos, muchos de los cuales son para nivel bajo. Inconvenientes son el efecto de la diferente iluminación (pese a la normalización aparecen por ejemplo sombras), confundir detalles de suelo o costas con trazadores nubosos, y que la asignación del nivel ha de hacerse con el canal IR, de peor resolución.

El proceso WV utiliza imágenes realzadas usando un realce lineal de brillos, para aumentar contraste; aparecen trazadores y vientos asociados tanto a nubes altas como a aire claro a niveles medios y altos (trazadores de vapor de agua). Los primeros dan buen seguimiento y buena asignación de altura; los segundos son más escasos y menos fiables en ambos aspectos (el trazador tiene en realidad un espesor, con contribución variable de distintas capas), pero son de gran interés en zonas sin nubes a niveles altos y medios. El nivel se otorga de acuerdo con la temperatura de brillo WV.

## 2.3. Base de datos de vientos depurados

Cada trazador proporciona un viento (si hay máximo de correlación), promedio de dos sucesivos, que será borrado si: diferencia excesiva entre los dos sucesivos (más de 10 m/s en alguna componente); viento débil sobre tierra por debajo de 500 mb (salvo suelo llano); fallo en la asignación de nivel; o vientos de correlación demasiado alta o baja. Este último criterio es más exigente si hay diferencia significativa entre vientos sucesivos (entre 5 y 10 m/s en alguna componente).

En la depuración final cada viento es comparado con todo cercano, (0,75 grados de latitud o longitud), usando como criterios el resultado de comparación entre sucesivos vientos y el valor de correlación. Los vientos reciben una nueva etiqueta, desde cero (vientos mejores que alguno cercano y muy similar, y sin diferencia significativa entre sucesivos), hasta 5 (no fue posible comparar, y diferencia significativa entre sucesivos). Sólo se borran cuando son o peores en toda comparación, o casi coincidentes con otro mejor.

Resultados depurados intermedios están disponibles después de cada uno de los procesos independientes (cada canal), evaluando todos los vientos calculados hasta ese momento para ese período sinóptico;

sólo tras el último de los procesos independientes (WV), los resultados son definitivos (combinación de todos los canales disponibles).

La comparación de vientos WV tiene características especiales: si están asignados por encima de cierto nivel (actualmente 350 mb), se suponen nubes altas: ese nivel lo asumen también vientos IR o VIS aceptados, cercanos, similares, pero que sin embargo se dieron demasiado bajos posiblemente por error (cirros semitransparentes). El nivel (empírico), ha funcionado sorprendentemente bien pese a lo elemental del criterio, lo que no excluye revisiones.

## 2.4. Comparaciones y estadísticas

El procedimiento VDI incluye también la comparación puntual con el análisis (modelo LAM-INM interpolado; cada 6 horas), y con observaciones cercanas de radiosondeos (niveles tipo, cada 6 horas) y aviones (nivel que difiera en menos de 150 mb; cada 3 horas); el criterio de cercanía es 0,5 grados. Y estas comparaciones se analizan estadísticamente:

Las estadísticas de la comparación con el análisis son diarias (cada 6 horas), por separado para dos amplias zonas, una preferentemente marítima (donde más y mejores vientos se consiguen), y otra más bien continental (donde la cobertura mediante observaciones es mejor y también por tanto el análisis).

Las estadísticas de comparación con observaciones que se generan y guardan son mensuales, estacionales (totales y por niveles), y anuales (por niveles y por nivel-rango de velocidad; todavía no disponibles); para cada hora sinóptica.

En aplicaciones similares se usan diversos estadísticos; aquí se calculan y archivan algunos de ellos: número de comparaciones y viento medio de la referencia; desviación media (*bias*), error cuadrático medio y coeficiente de regresión para la comparación de velocidades; desviación absoluta de diferencias de la dirección; y error cuadrático medio vectorial (RMSV). Los más usados son *bias* y RMSV para estimar, respectivamente, el error sistemático y general del viento.

## 2.5. Acceso interactivo

Existen en SAIDAS (Fernández, 1996) herramientas para presentar los vientos en pantalla, generar campos (con o sin información auxiliar), listar en una zona concreta toda la información disponible (niveles, perfiles previstos, etiqueta asociada, etc.), acceso a comparaciones, y otras posibilidades. Son de manejo sencillo sobre todo en asociación a las imágenes Meteosat, y pueden ser usados para productos o datos meteorológicos similares.

## 3. Algunas consideraciones y resultados

Se tratan aquí, primero, las dificultades inherentes a la propia característica del trazador. Después se presentan comparaciones puntuales, y estadísticas, que permiten una evaluación *a posteriori*. Finalmente, ejemplos de aplicación de los vientos VDI al diagnóstico atmosférico (imagen *cuadridimensional* de la atmósfera), en tanto que información adicional.

### 3.1. Resultados según tipo de trazador o zona

Zonas de potencial dificultad pueden ser: donde aparece nubosidad próxima, incluso entremezclada pero en 2 niveles bien diferenciados; vientos WV (cuyo trazador es una estructura de vapor de agua), sobre otros de IR o VIS (nubes a bajo nivel); el tratamiento de los niveles bajos sobre tierra; la coherencia de vientos cercanos en situación y nivel, pero de distinto canal; y el tratamiento de los cirros semitransparentes.

En general pueden conseguirse resultados interesantes en todas o la mayoría de estas zonas; pero persisten algunos vientos IR para cirros semitransparentes asignados a nivel erróneo (a menudo cerca hay otros similares y correctos), y algún caso erróneo o al menos dudoso a niveles bajos (nieve, costas, etc.). Por poco contraste, contornos demasiado lisos o difusos, o no conservación de la forma, no se consiguen a veces vientos en zonas de interés, en particular si éstas no llevan asociada nubosidad, sino estructuras de vapor de agua.

### 3.2. Análisis de comparaciones y estadísticas

Las comparaciones con vientos de referencia pueden permitir estimar la validez local de los vientos VDI recientes, y permiten generar rutinariamente estadísticas, que, para la comparación con observaciones, se calculan por separado para cada hora sinóptica; se presentan resultados seleccionados como bastante significativos; así de las comparaciones con radiosondeos a 12 Z, veremos primero ejemplos mensuales y luego por estación del año:

| Mes            | Casos | Vel<br>(ref.) | BIAS | RMS<br>(vect.) | RMS<br>(vei.) | CORR | ERR<br>(dir.) |
|----------------|-------|---------------|------|----------------|---------------|------|---------------|
| Agosto-95. . . | 291   | 10,5          | -1,0 | 6,4            | 4,9           | 0,83 | 26,9          |
| Marzo-96 . . . | 269   | 11,2          | -1,2 | 6,6            | 4,7           | 0,82 | 29,5          |

No se observan grandes diferencias entre unos meses y otros (y en pai-te son debidas a la distinta fuerza media del viento); los vientos VDI resultan, en general, algo más débiles que la referencia (*bias* negativo).

Por estaciones, están también disponibles estadísticas por rango de niveles:

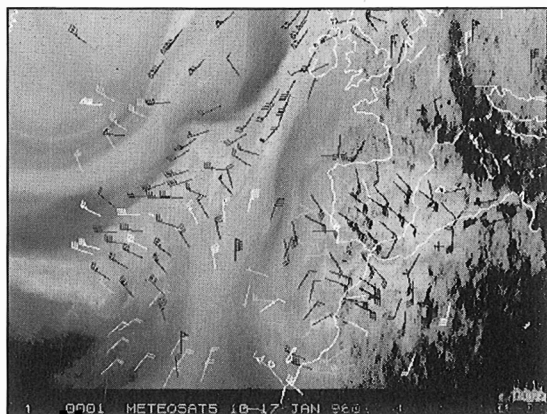
|                   | Casos | Vel<br>(ref.) | BIAS | RMS<br>(vect.) | RMS<br>(vei.) | CORR | ERR<br>(dir.) |
|-------------------|-------|---------------|------|----------------|---------------|------|---------------|
| Verano 1995:      |       |               |      |                |               |      |               |
| Bajos. . . . .    | 461   | 6,7           | -0,1 | 6,3            | 5,0           | 0,52 | 37,8          |
| Medios . . . . .  | 96    | 13,3          | -1,8 | 6,3            | 4,9           | 0,79 | 17,6          |
| Altos . . . . .   | 272   | 16,6          | -1,7 | 7,2            | 5,7           | 0,84 | 17,4          |
| Invierno 1995-96: |       |               |      |                |               |      |               |
| Bajos. . . . .    | 333   | 8,4           | -1,2 | 6,2            | 4,7           | 0,65 | 32,2          |
| Medios . . . . .  | 181   | 13,9          | -1,8 | 7,3            | 5,9           | 0,75 | 20,6          |
| Altos . . . . .   | 236   | 21,0          | -2,1 | 8,2            | 6,5           | 0,86 | 16,0          |

La tendencia a vientos VDI más débiles que los observados es más clara a niveles altos y medios; es ya conocida aunque aparece algo exagerada, particularmente en niveles medios donde puede que a menudo se asigne un nivel demasiado bajo a trazadores de vapor de agua. Resultados coherentes son que el error (vectorial y en velocidad) crezca para niveles altos, mientras que el de dirección (particularmente en verano) es mayor para niveles bajos, con vientos más flojos y variables. El error (RMS) se mantiene en valores generalmente aceptables.

Las estadísticas de comparación con el modelo numérico del INM se generan cada 6 horas y para dos zonas distintas; en el ejemplo se presentan para el 29 de febrero de 1996:

| Zona             | Casos | Vel<br>(ref.) | BIAS | RMS<br>(vect.) | RMS<br>(vei.) | CORR | ERR<br>(dir.) |
|------------------|-------|---------------|------|----------------|---------------|------|---------------|
| A las 0 horas:   |       |               |      |                |               |      |               |
| Atlántico N. ... | 87    | 17,3          | -2,0 | 8,3            | 6,9           | 0,73 | 20,0          |
| Europa-Medi. ... | 96    | 18,1          | -0,1 | 8,0            | 6,6           | 0,71 | 13,1          |
| A las 12 horas:  |       |               |      |                |               |      |               |
| Atlántico N. ... | 206   | 12,5          | 0,5  | 3,5            | 2,6           | 0,91 | 11,1          |
| Europa-Medi. ... | 105   | 15,3          | -0,1 | 6,7            | 5,1           | 0,82 | 20,5          |

A las 0 h, el error es importante (pero también lo es la fuerza del viento), incluso mayor sobre el Atlántico, con bias apreciablemente negativo (probablemente el modelo exagera el viento). A las 12 h, el error es claramente menor, probablemente debido al mayor número de comparaciones, por la aportación del VIS (sobre todo a niveles bajos y medios, y sobre el mar), con resultados esta vez claramente mejores sobre el Atlántico, donde análisis y vientos VDI se confirman mutuamente.



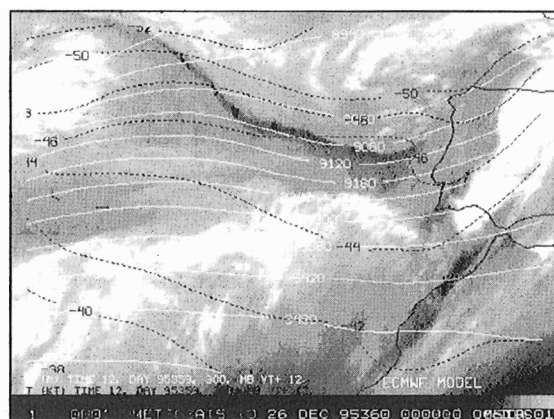
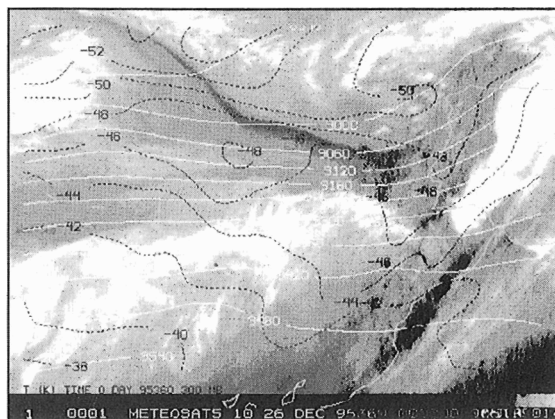
**Fig. 1** Vientos VDI (IR y WV), sobre imagen WV, 17-Ene-96/0 Z

### 3.3. Ejemplos de aplicación al diagnóstico

Se consideran los vientos VDI de niveles altos (por encima de 400 mb, en negro en las figuras), y también medios (entre 400 y 700 mb, en blanco).

Caso A: Ayuda a la interpretación de la imagen, previa a la recepción de los análisis de los modelos (17 de enero de 1996 a las 0 h): entre dos perturbaciones muy activas (un frente frío con importante descarga postfrontal al NW, y una DANA al NW de África), se localiza una banda nubosa y de humedad en la imagen WV. Los VDI confirman al predictor lo que ésta sugería: existencia de cizalladura y giro de vientos no muy intensos (30-40 kt), asociados a esa banda.

Caso B: Verificación de las salidas de los modelos HIRLAM y CEP junto con las imágenes de WV (26 de diciembre de 1995 a las 0 h): las dos últimas semanas de ese año se caracterizaron por la presencia de una circulación zonal de flujos intensos del W, que de interaccionar con perturbaciones polares al NW de la Pe-

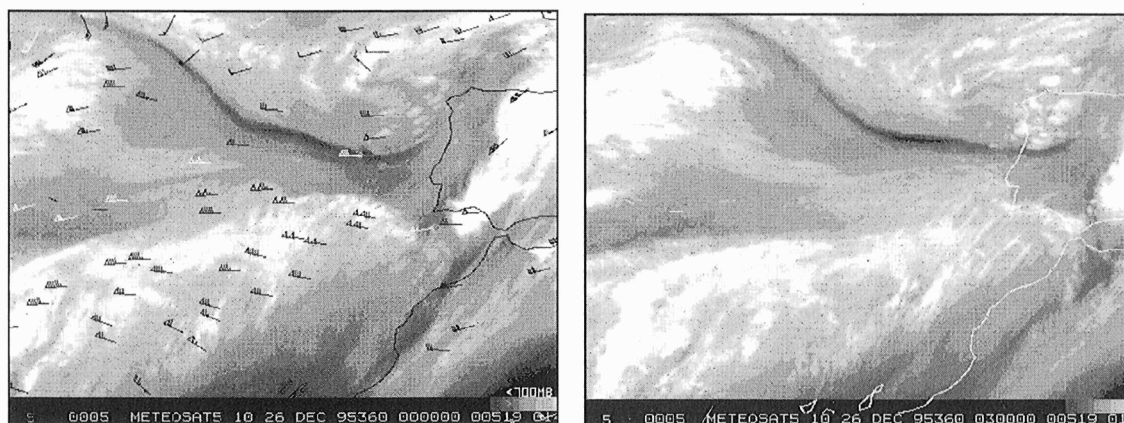


**Figs. 2 y 3.** Análisis HIRLAM; previsto CEP (HH+12), 300 mb. Sobre imagen WV, 26-Dic-95/0 Z

nínsula, originaban lluvias persistentes y muy eficientes sobre gran parte de la Península, especialmente en su mitad occidental. Estas perturbaciones (donde además de la circulación polar intervenía también otra de tipo subtropical) no fueron del todo bien recogidas por los modelos. En el ejemplo, el modelo CEP (HH+12), sólo recoge circulación intensa a 300 mb, asociada a un chorro advectionivo que puede tender a profundizar la vaguada del NW peninsular. El análisis HIRLAM, sin embargo, muestra una estructura de circulación más compleja en dicho nivel, y una circulación polar más canalizada.

Los vientos VDI en altura presentan una distribución espacial adecuada al análisis HIRLAM, y pueden usarse cualitativamente para acomodar en mente el modelo conceptual. 3 horas después, el sistema se había trasladado sin una aparente profundización de la vaguada polar; es decir, de acuerdo con lo que sugerían HIRLAM y los resultados VDI, y no así CEP.

Caso C: información VDI no adecuada (14 de febrero de 1996 a las 0 horas): en esta situación no existió buena correspondencia entre la imagen WV y los vientos VDI en la zona de caída de la dorsal atlántica, que posee un máximo de vorticidad, por cizalladura, alargado (la posición y forma del máximo de viento tampoco fueron del todo bien reproducidos por el modelo HIRLAM). Los vientos VDI son ahí escasos por las dificultades relativas a la identificación y seguimiento de estructuras de vapor de agua, únicas relacionables (no existe nubosidad asociada a niveles medios y altos).



**Figs. 4 y 5.** Vientos VDI sobre imagen WV a 0 Z; imagen WV a 3 Z. 26-Dic-95

#### 4. Conclusiones

El procedimiento VDI permite disponer de vientos interesantes para diagnóstico, aunque en algunos casos los resultados habrían de mejorar (en particular una cobertura más regular).

Globalmente, los resultados son bastante fiables; sin embargo persisten algunos casos erróneos o dudosos, pocos, pero que pueden requerir una revisión adicional.

Para futuros desarrollos en el INM se requiere sobre todo saber qué se necesita (usos finales), adaptando técnicas existentes, y preparando el camino para aprovechar las posibilidades de los satélites futuros.

Es importante que los productos se usen (tanto VDI como *Satob*), para así conocerlos a fondo. Aunque se han presentado ejemplos de aplicación al diagnóstico a niveles altos y medios, también consideramos de interés los niveles bajos, con buena cobertura de día (canal VIS), y resolución ya hoy interesante (y sobre todo que mejorará bastante con el Meteosat futuro).

#### Referencias

Fernández, J. M., 1996: Vientos de Desplazamientos en imágenes METEOSAT — VDI — en el SAIDAS. Nota Técnica SRS-SAT-17/2-96 del Servicio de Teledetección, INM.

Schmetz, J.; K. Holmlund; J. Hoffman; B. Strauss; B. Mason; V. Gaertner; A. Koch; L. Van de Berg, 1993: Operational Cloud-Motion Winds from METEOSAT infrared images; *J. Appl. Met.*, vol. 32, no. 7.